

B-1

有機デバイスの電気特性評価



大里 一徳

Tektronix[®]

KEITHLEY
A Tektronix Company

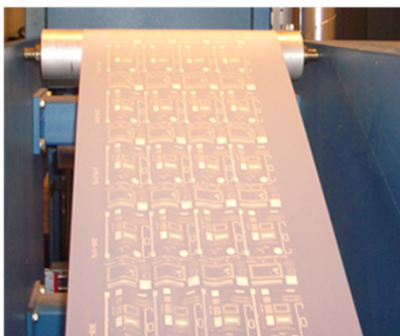


Contents

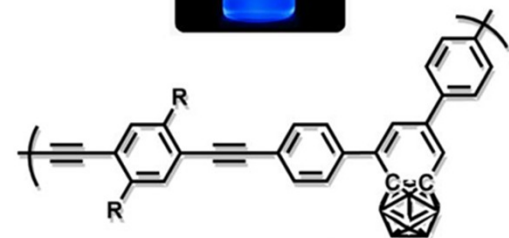
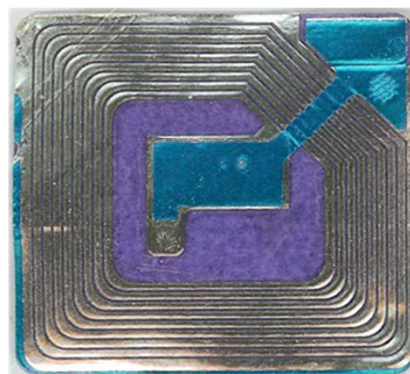
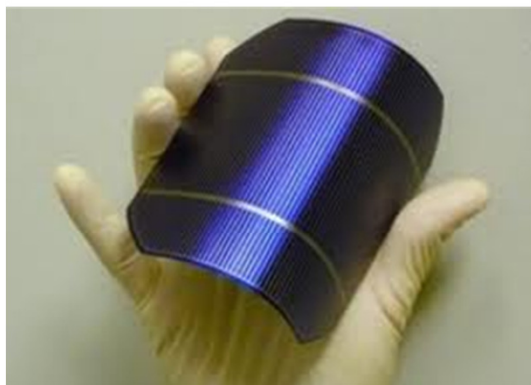
- ◆ プリントブルインク材料の評価
 - 1)4探針法を用いた表面抵抗率測定
 - 2)微小電圧測定における熱起電力の問題
- ◆ トランジスタの特性評価
 - ・ パルス測定の提案
- ◆ 信頼性評価
 - 1)DCバイアスストレス試験の課題
 - 2)新たな信頼性評価手法の提案
 - ・ パルスストレス試験
 - ・ UF-BTIストレス試験

プリンタブルインク材料の評価

有機プリントエレクトロニクスと材料

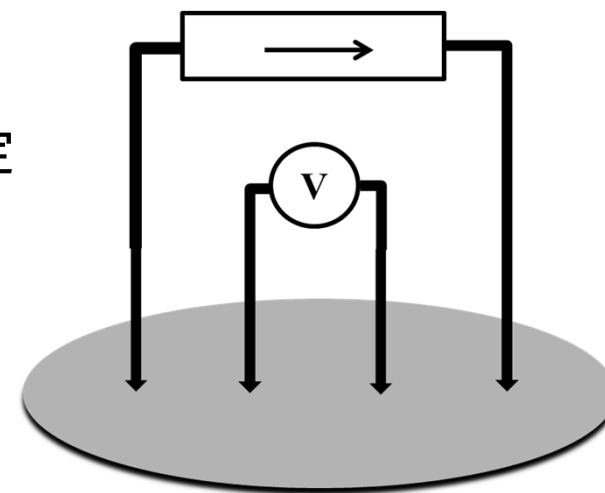


有機プリントエレクトロニクスと材料



4探針法

既知形状の試料に1組のリード線で電流を印加し、もう1組のリード線で電圧降下を測定して抵抗値を求める。

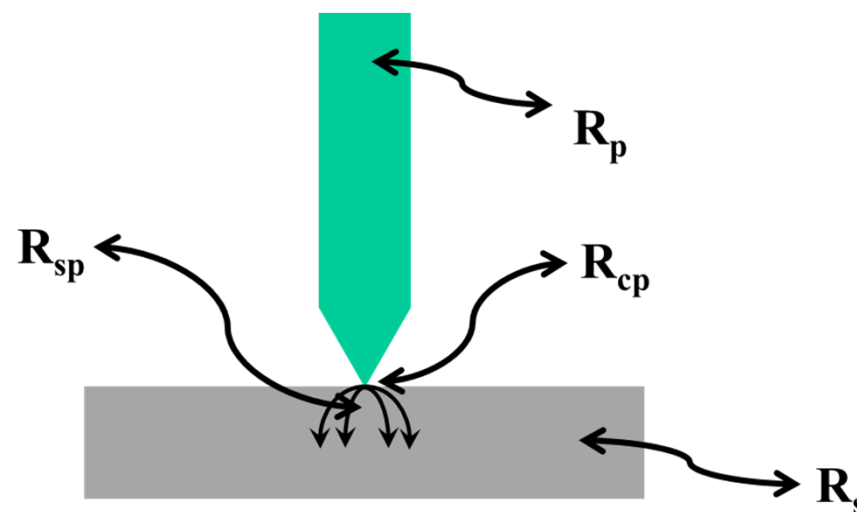


- ・ 測定抵抗値がかなり小さい
--->高感度の電圧計と電流源、またはソースメーターが必要
- ・ 試料への確実なプロービングが重要
--->プローブ間隔を試料の大きさと厚みを考慮し正確に設定する

考慮すべき抵抗成分

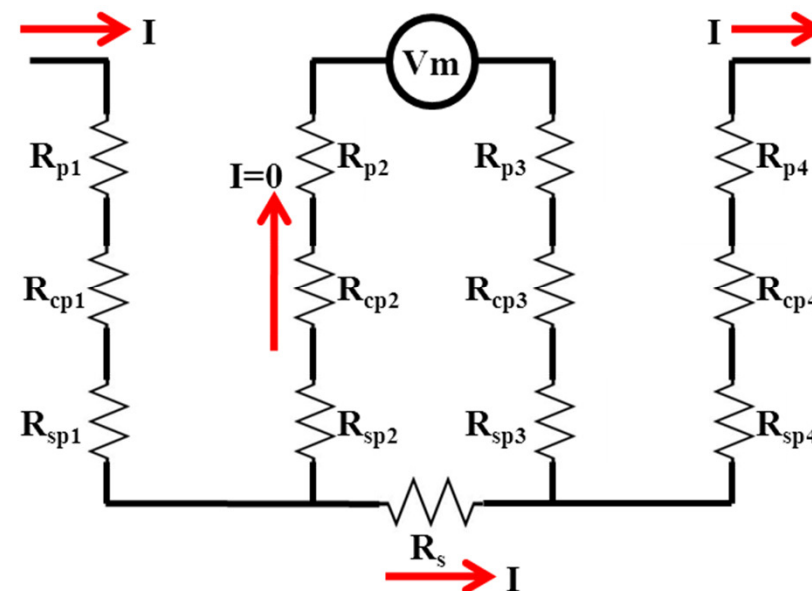
- R_p :プローブ材質に依存するプローブ抵抗
- R_{cp} :プローブチップと試料の界面の接触抵抗
- R_{sp} :電流が小さなプローブ端から試料中へ
広がって流れる際の広がり抵抗
- R_s :試料のシート抵抗

寄生抵抗



4探針法の等価回路

- 1組のリードを使い電流を印加
- 別のもう1組のリードを使い電圧を測定
- V_m は高入力抵抗
 - V_m への電流流入は無視可
 - センスリード間の電圧降下は無視でき、 V_m は R_s 両端の電圧に等しい値を測定
- 電流経路中のリード抵抗はもはや問題ではない

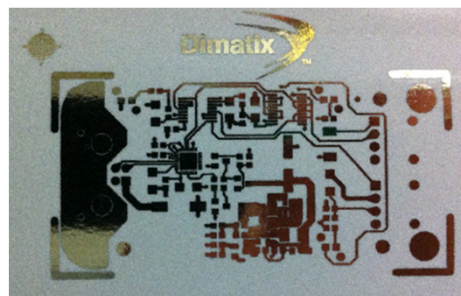
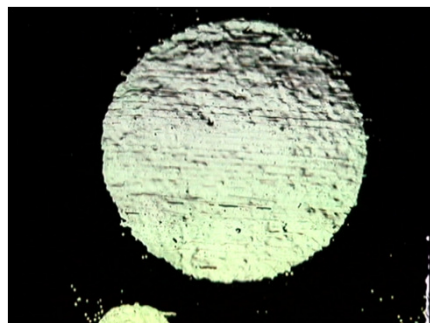


センス電流は無視できるため、 $V_m = V_R$ 、
よって測定抵抗値 $= V_m / I = V_{R_s} / I$

測定実験-1

◆ 試料

フレキシブルPCBに使用する銀ナノ粒子ベースのe-インク

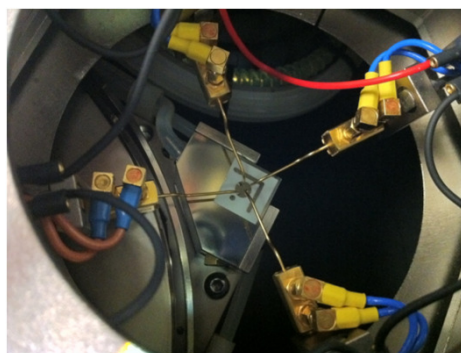


Dimatix社提供

◆ プロービング



試験用
サンプル



測定実験-2

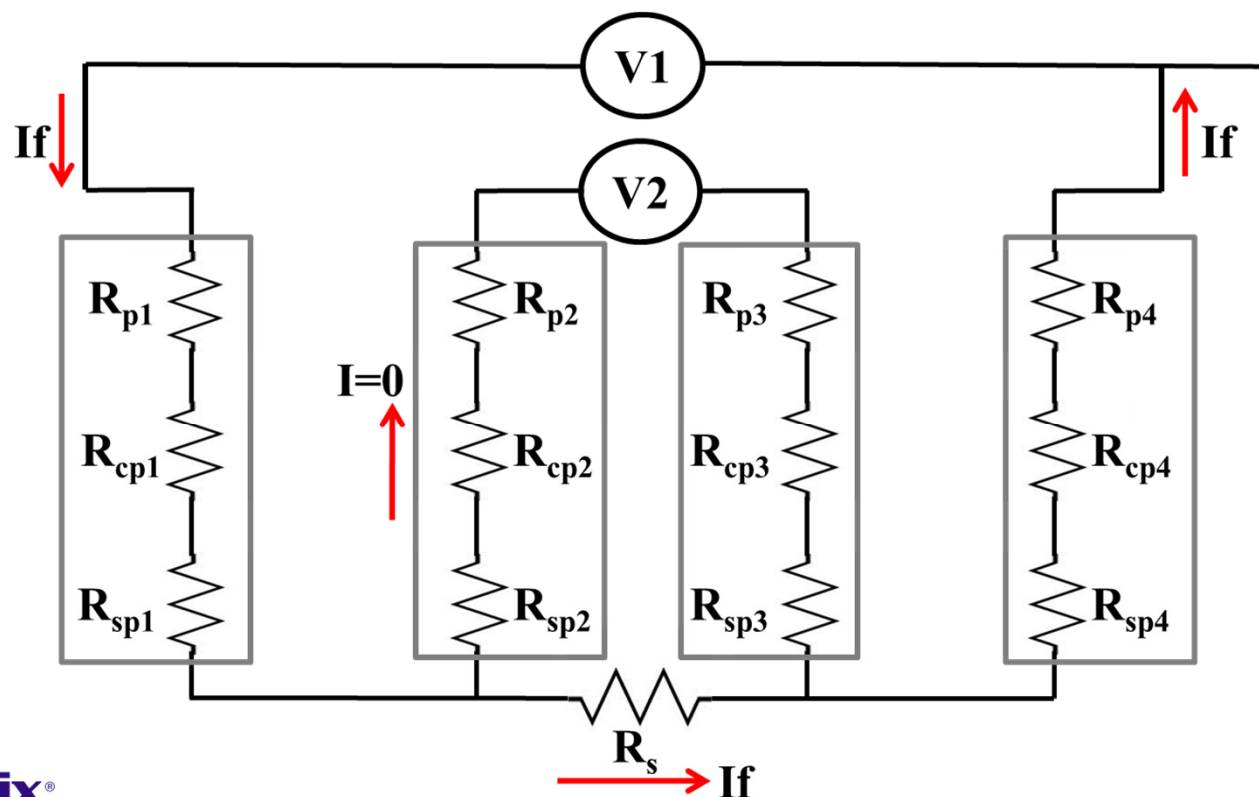
◆ 測定条件

電流印加：

$I_f = 0 \sim 1\text{mA}, 100\mu\text{A Step}$

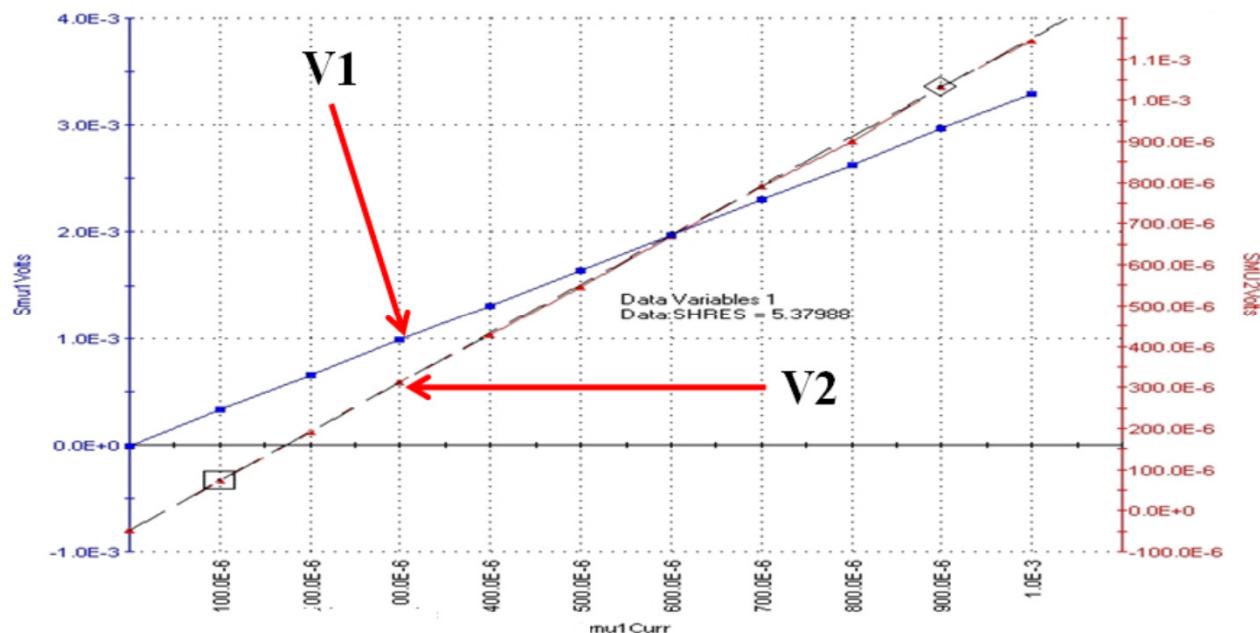
電圧測定：

- ・ V1(2点プローブ電圧測定値)
- ・ V2(4探針プローブ電圧測定値)



測定実験-3

◆ 測定結果



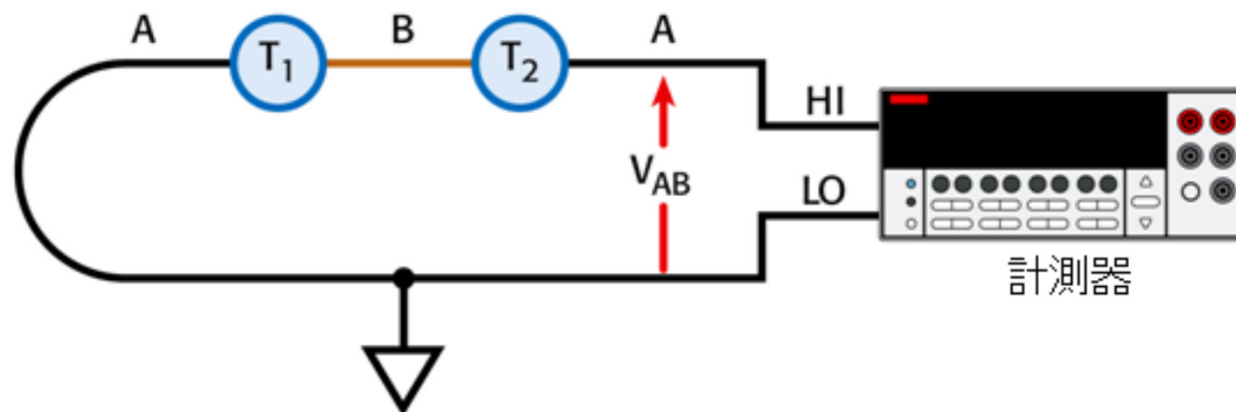
V1:2端子

$$\begin{aligned}\text{抵抗値} &= \delta V / \delta I = \\ &= \frac{(2.9664\text{E-}3 - 327.1886\text{E-}6)}{(900\text{E-}6 - 100\text{E-}6)} \\ &= 3.3 \, \Omega (\text{無効})\end{aligned}$$

V2:4探針

$$\begin{aligned}\text{抵抗値} &= \delta V / \delta I = \\ &= \frac{(1.0319\text{E-}3 - 72.456\text{E-}6)}{(900\text{E-}6 - 100\text{E-}6)} \\ &= 1.2 \, \Omega\end{aligned}$$

熱起電力による微小電圧測定誤差



直列回路に異種金属A,Bが接続された時に発生する熱起電力は：

$$V_{AB} = Q_{AB} (T_1 - T_2)$$

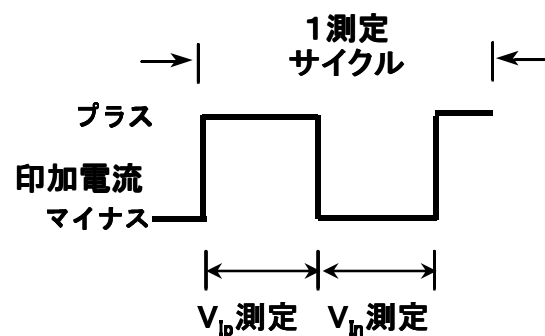
↑ ↑ ↑
金属AからBへの接点温度 $^{\circ}\text{C}$
金属BからAへの接点温度 $^{\circ}\text{C}$
材料AのBに対するゼーベック係数 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

熱起電力を抑制する方法

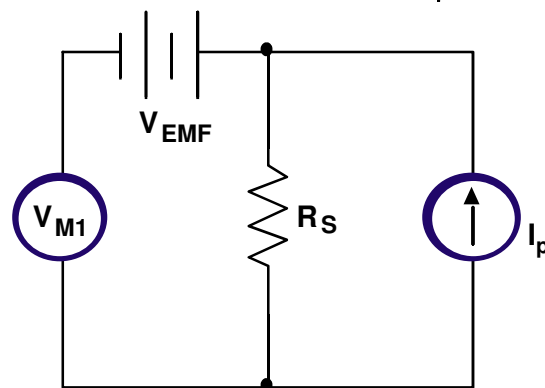
- 全ての導体に同種の金属を使い回路を形成する
接点を清潔にして酸化しないよう保つ。
- 回路内の温度勾配を最小にする
測定しようとするデバイスはたは材料周辺の温度を一定に保つ。
- 試験機器をウォームアップし、周辺温度に対し熱平衡に到達させる。

デルタモード(電流反転)抵抗測定

デルタモード 測定サイクル

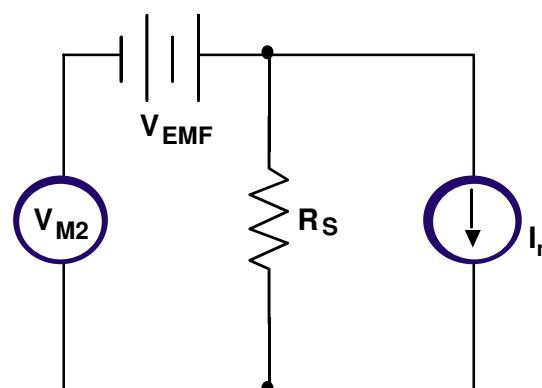


b. 正極性電流で電圧測定 (V_{lp})



$$V_{M1} = V_{lp} + V_{EMF}$$

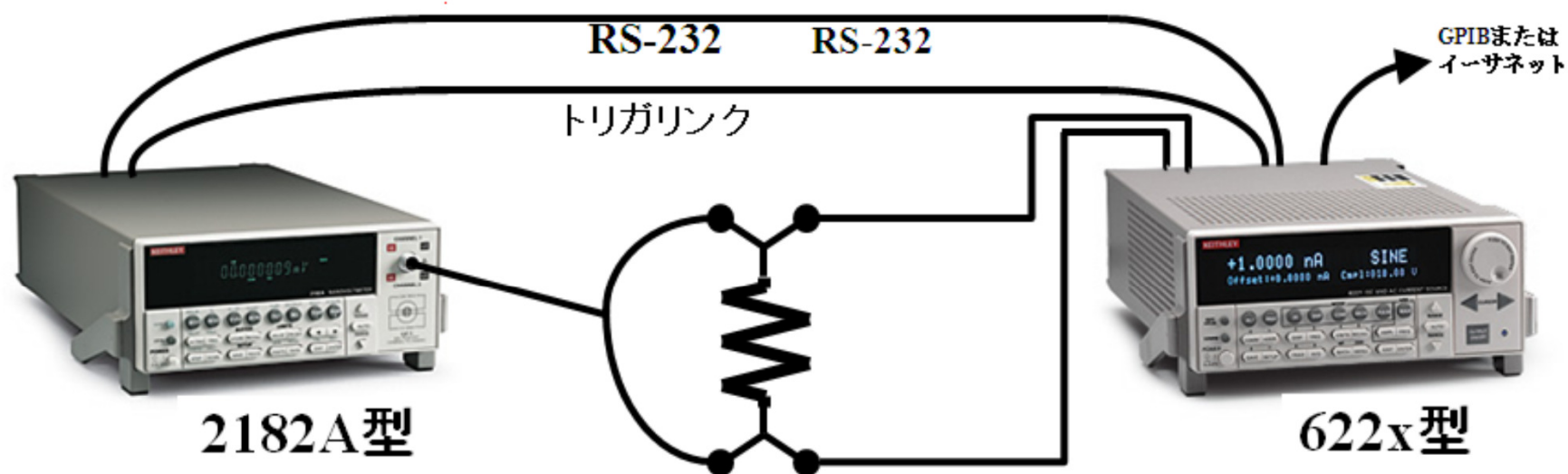
c. 負極性電流で電圧測定 (V_{ln})



$$V_{M2} = V_{ln} + V_{EMF}$$

$$V_M = (V_{M1} - V_{M2}) / 2 = V_{lp}$$

デルタモード測定ソリューション

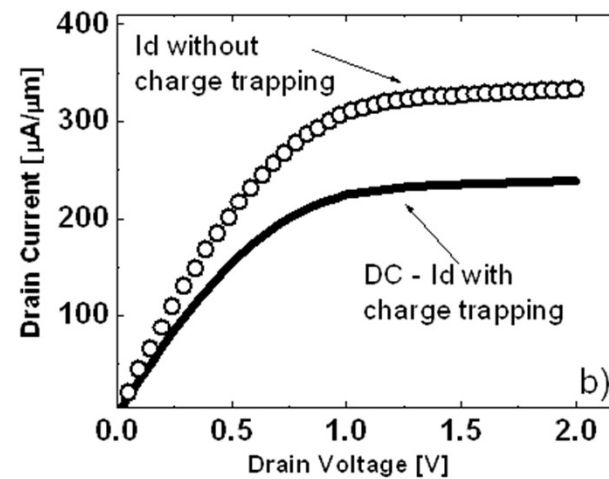
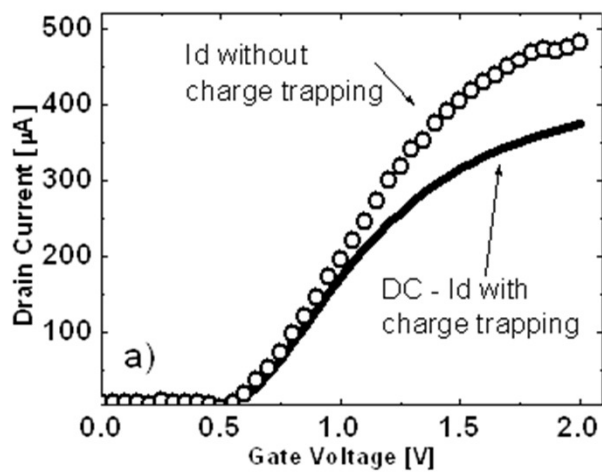
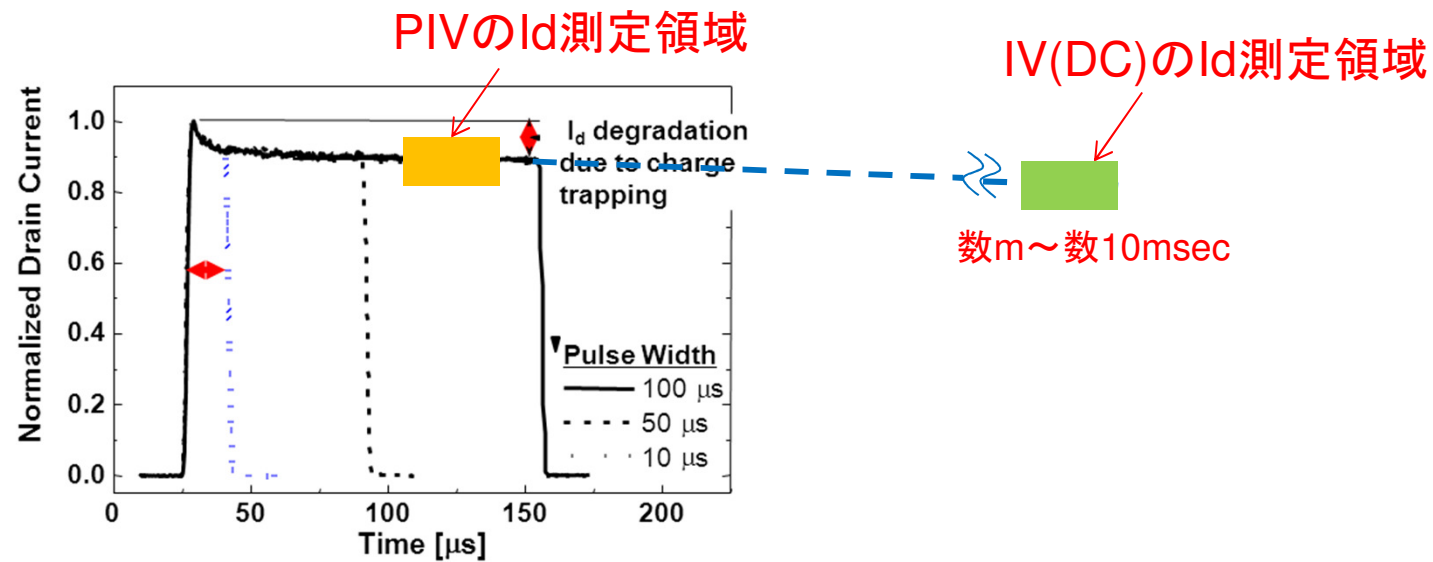


622Xは2182A型ナノボルトメータを制御し、読み取り値を計算する

- ハードウェアトリガシステム - msタイミング
 - 2182Aが演算を実行
 - 2182Aが電圧結果を表示
- 平均フィルタは電流反転後のノイズを低減可

トランジスタの特性評価

チャージトラップによる I_d の劣化



短パルス過渡応答評価

立ち上がり領域：

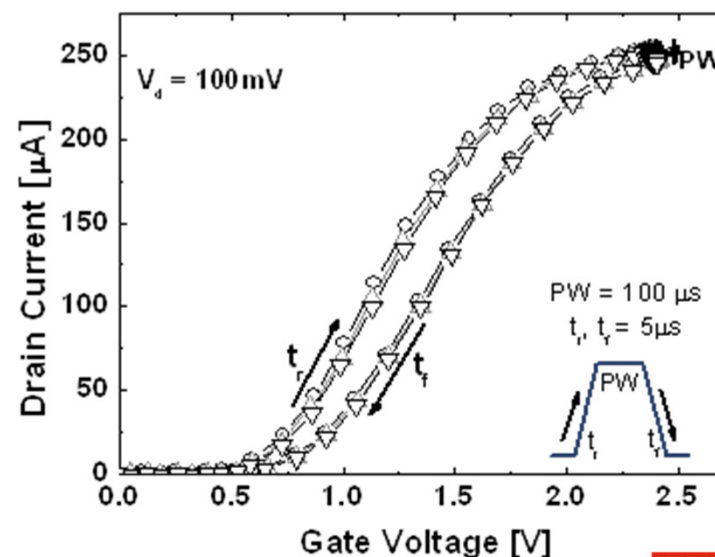
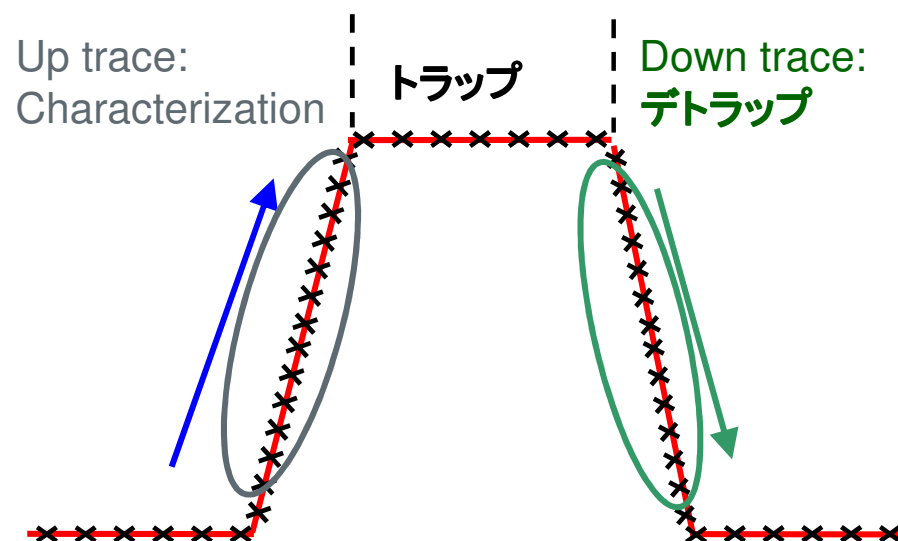
トランジスタの V_g - I_d 特性カーブを取得

Pulse top領域：

この領域でチャージトラップが発生。 I_d が時間に応じて劣化する。

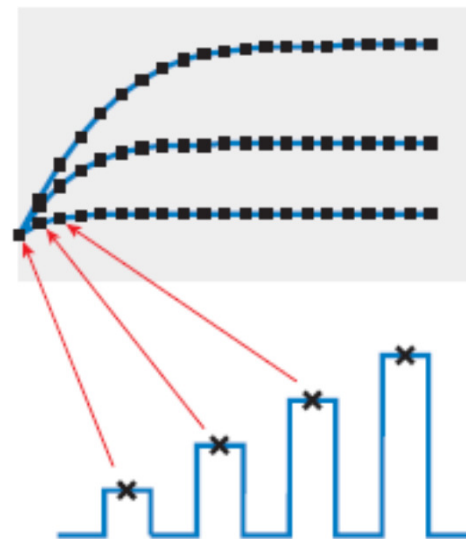
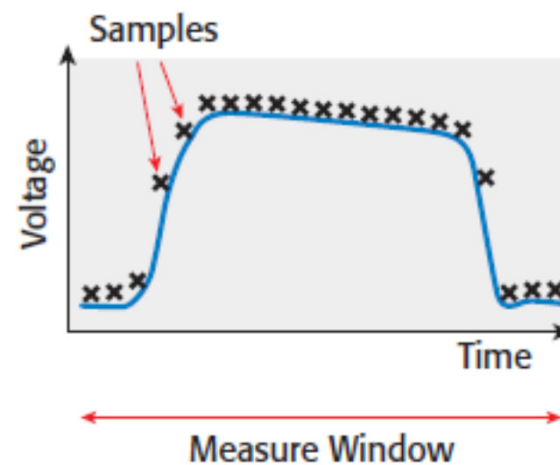
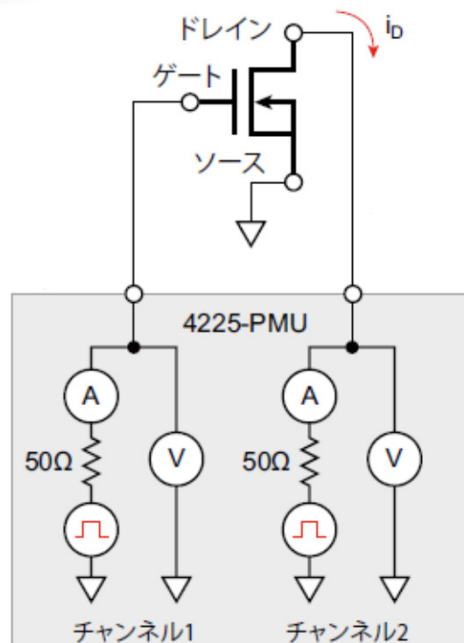
立下り領域：

Reverse V_g - I_d カーブを表示。立ち上がりと異なった軌跡。



パルスIV測定ソリューション

UF-IV Test Module

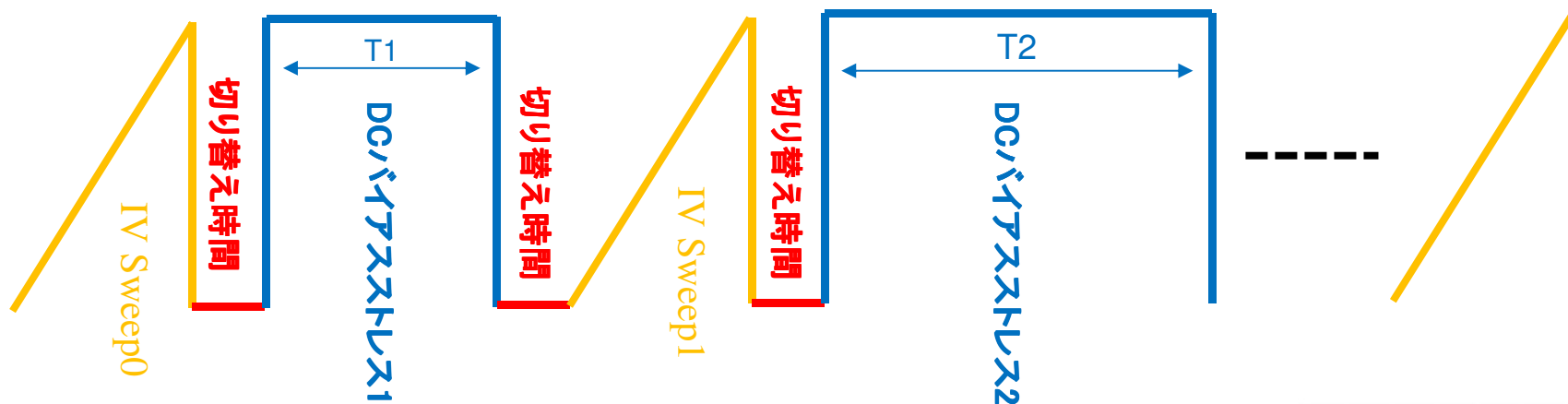


信頼性評価



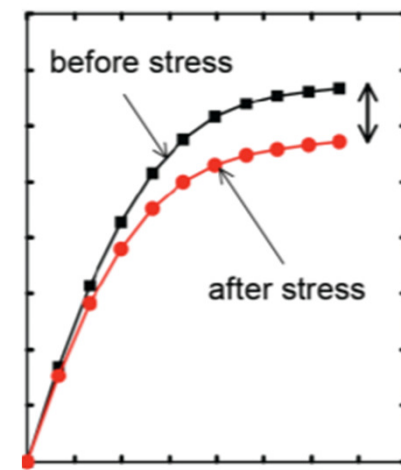
DCバイアスストレス試験の課題

テストシーケンス：



課題1:DCバイアスストレスでの信頼性評価結果が実動作の信頼性を正確に評価できているか？

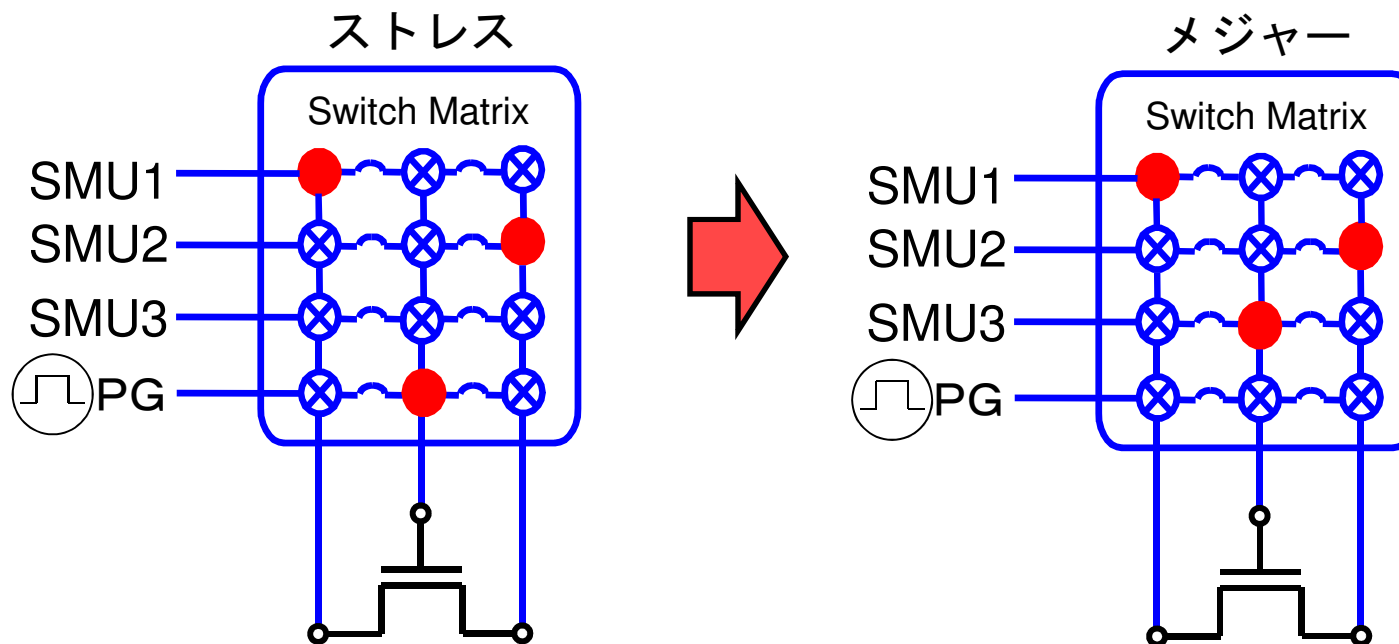
課題2:緩和時間の影響は無視できるか？
切り替え時間=数10ms～数s



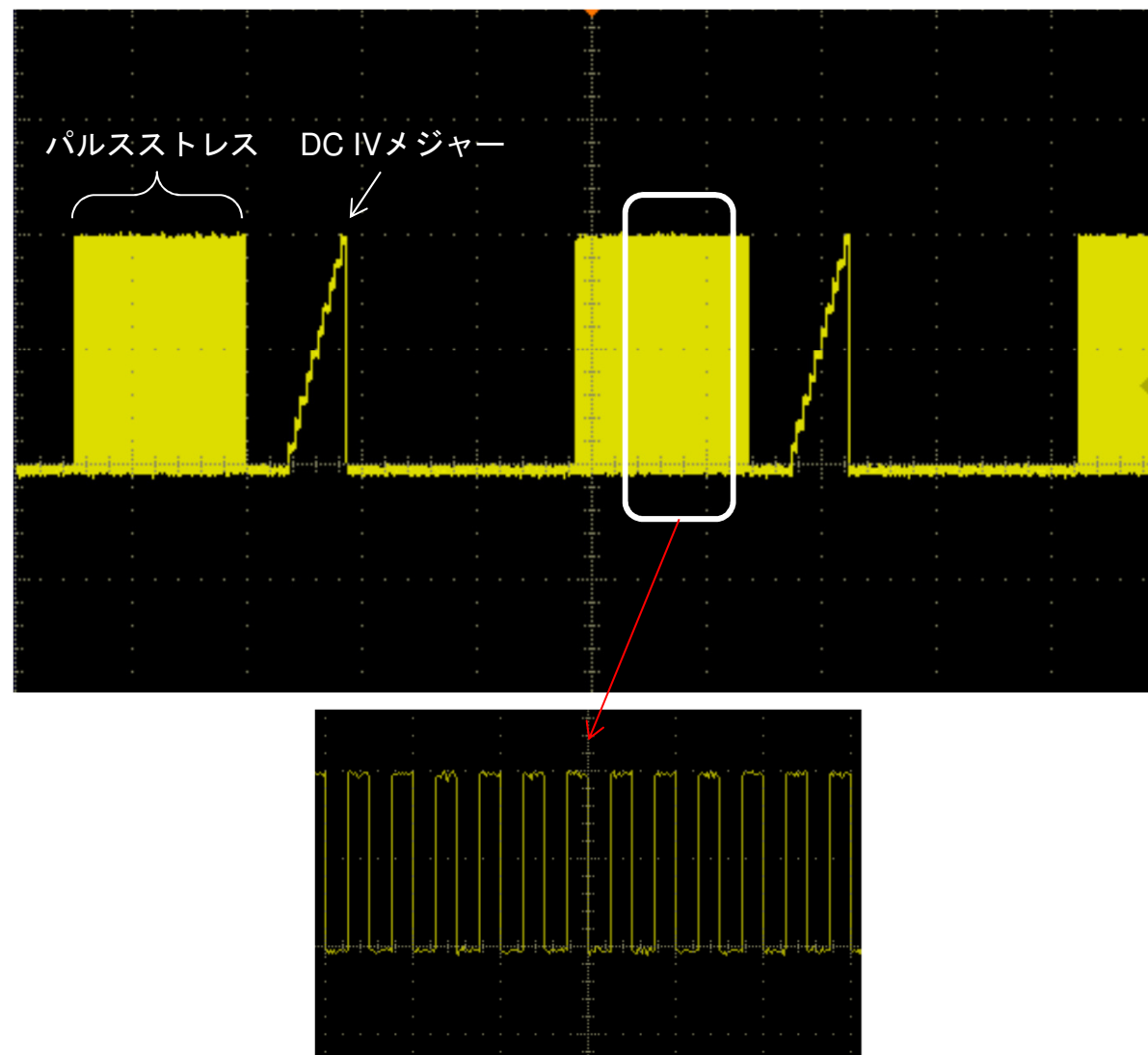
課題1:DCバイアスストレスで実動作の信頼性を正確に評価できているか?

◆ パルスストレス試験

- ・ 実動作に近いパルスストレスでの信頼性評価
- ・ DCバイアスとパルスストレスでの劣化メカニズムの違い
- ・ パルスパラメータ(立ち上がり、立下り、周波数等)の依存性は?

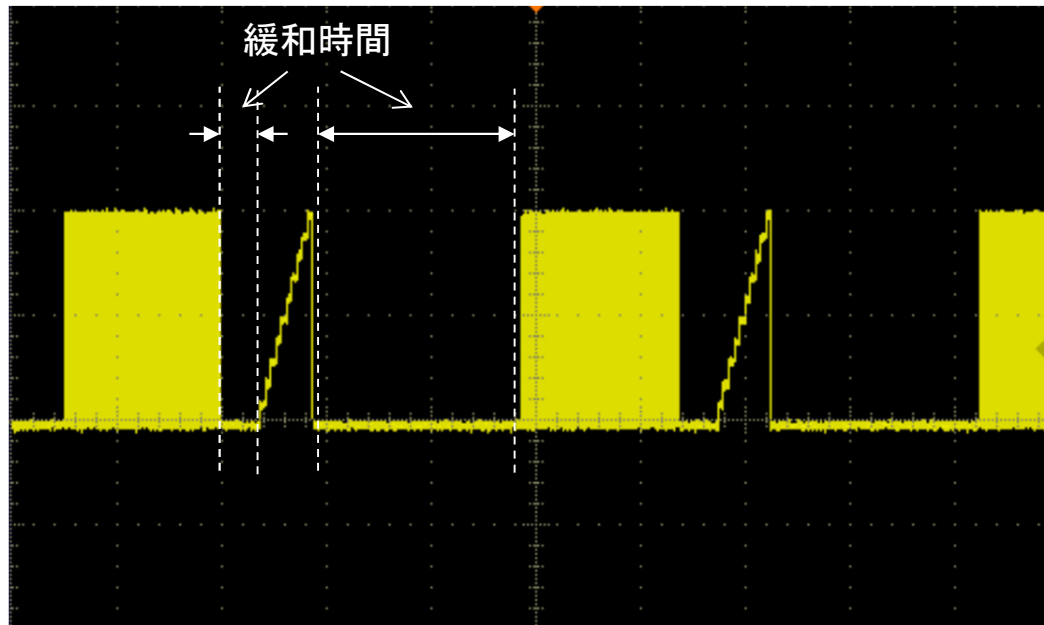


パルスストレス試験例



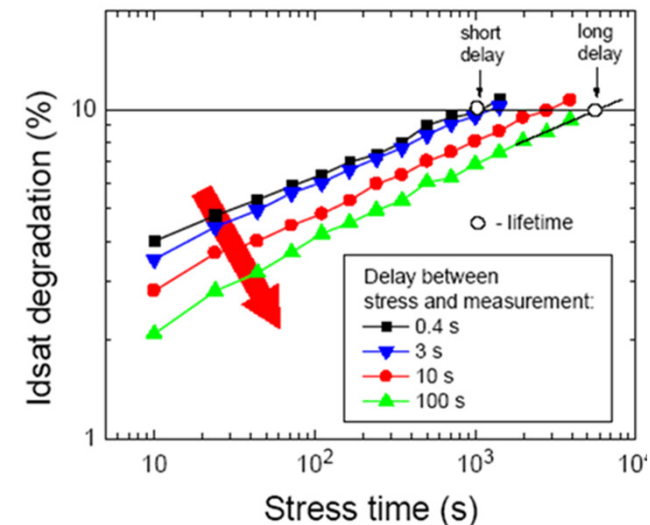
課題2:緩和時間の影響は無視できるか?

- ◆ 通常のスレッド・メジャーシーケンスではスレッドの緩和時間が発生
パルスストレス(PG)--->Switching--->DC IVメジャー(SMU)--->Switching . . .
- ◆ 緩和時間(Relaxation)による劣化の回復が発生しないか?



緩和時間発生源 :

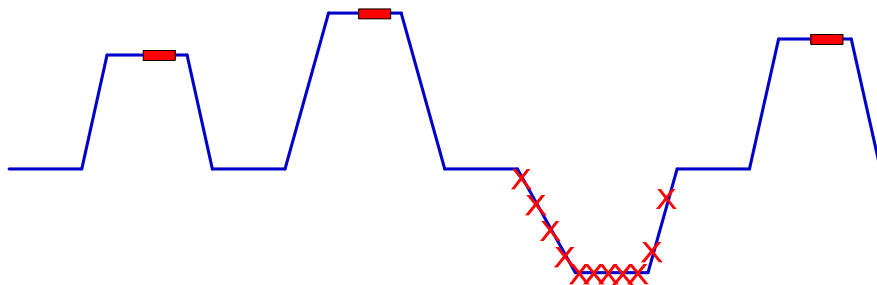
スイッチ切り替え,測定起動時間,機器通信時間等



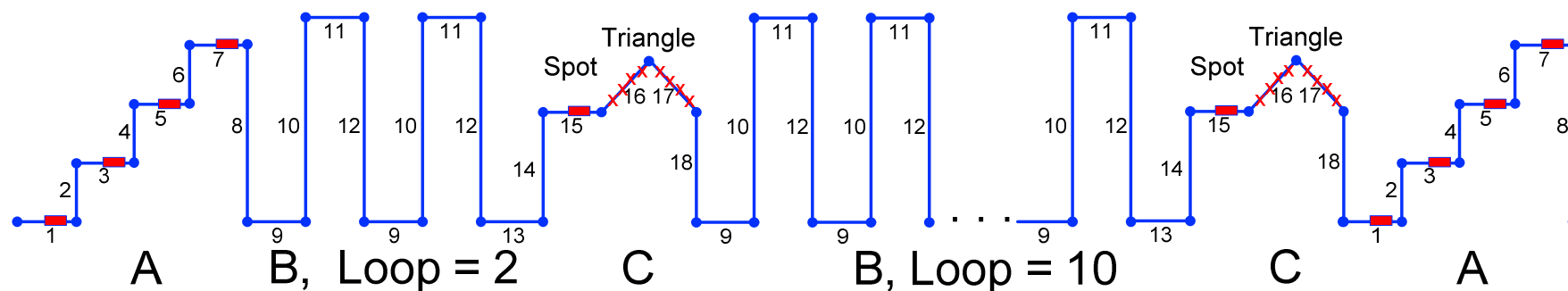
UF-BTIストレス試験

◆ UF IV Test ModuleのSegment ARB機能を使用

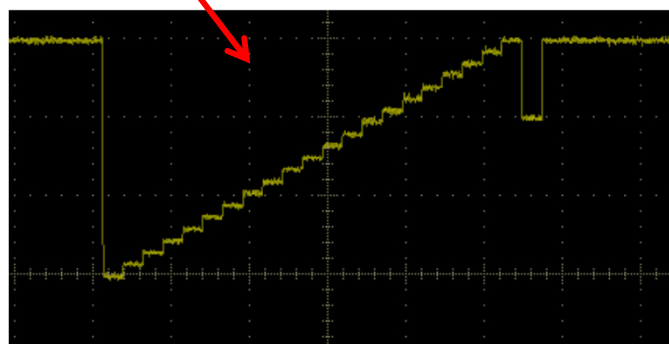
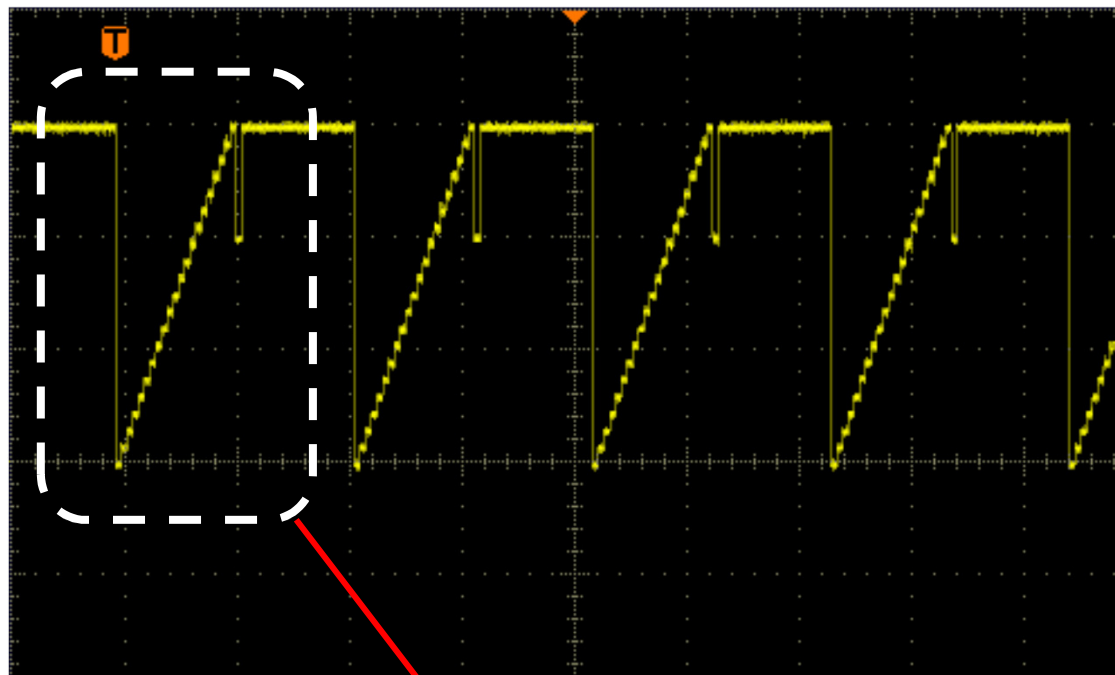
- ・ マルチレベルのパルス波形を生成し出力
- ・ 出力電圧及び電流/電圧波形キャプチャ



◆ ゼロ緩和時間のパルス(or バイアス)ストレス・メジャーシーケンスを実現



UF-BTIストレス試験波形



まとめ

◆ 4探針プローブ法による表面抵抗率の測定手法を解説

低抵抗測定においては4探針法で寄生抵抗成分を排除する

◆ 微小電圧測定においては熱起電力による誤差が問題となる

デルタモード法による熱オフセット補償が有効

◆ 一般的に用いられているトランジスタのDC IV測定結果にはチャージトラップによる特性劣化の影響が排除されていない可能性がある。

パルス測定手法による過渡応答特性評価を提案

◆ DCストレス・メジャー信頼性試験に対する課題

・ 実動作の信頼性を正確に評価できているか？

パルスストレス試験の必要性

・ 緩和時間の影響は？

測定の切り替え等により発生するストレス・メジャー間の緩和時間により素子の寿命を長く見積もっている可能性?--->UF-BTI試験の提案



ご清聴ありがとうございました。

本テキストの無断複製・転載を禁じます。テクトロニクス/ケースレーインストルメンツ
Copyright © Tektronix, Keithley Instruments. All rights reserved.

www.tektronix.com/ja
www.keithley.jp/



Twitter

[@tektronix_jp](https://twitter.com/tektronix_jp)



[Facebook](https://www.facebook.com/tektronix.jp)

<http://www.facebook.com/tektronix.jp>

Tektronix[®]

KEITHLEY
A Tektronix Company

Tektronix[®]

KEITHLEY
A Tektronix Company